

Reconstrucció de les temperatures superficials de l'aire i de l'aigua del Skagerrak (Escandinàvia) dels darrers 2000 anys.

Presentat per Gemma Rueda Ferrer. Tutor: Antoni Rosell-Melé.
Bellaterra, juny de 2007.

S'han utilitzat uns *proxies* nous per a estimar les temperatures superficials de l'aigua i de l'aire dels darrers 2000 anys de la zona de l'estret del Skagerrak per tal d'estudiar l'evolució del clima en aquesta zona i comparar-la amb la tendència del pal d'hoquei observada en diversos registres de l'hemisferi Nord. Els *proxies* utilitzats estan basats en els GDGTS i són el TEX₈₆, que permet estimar la SST, el MAAT que permet estimar la temperatura mitjana anual de l'aire, el BIT que permet estimar la proporció de material terrestre en sediments marins o lacustres i el CBT que permet estimar el pH del sòl. Aquestes estimacions s'han comparat amb altres registres de la mateixa zona d'estudi. S'observa que el senyal de temperatura estimat pel TEX₈₆ prové d'una zona en la columna d'aigua situada entre la zona fòtica i el fons marí. L'estimació del MAAT permet observar un òptim climàtic medieval, una petita edat del gel i un increment accentuat de les temperatures en els darrers 200 anys en la zona d'estudi. D'altra banda sembla que el MAAT estima la temperatura anual de l'aire a nivell regional, no local. L'estimació del BIT permet observar que la major part del testimoni sedimentari analitzat prové de material autòcton. S'observen dos pics al voltant de 445 DC i 1462 DC que podrien indicar episodis de pluges torrencials i/o canvis en la dinàmica de les corrents marines al Skagerrak. Finalment el pH estimat mitjançant el CBT sembla ser no representatiu dels sòls de Noruega, per tant aquesta forma d'estimar el pH podria ser no vàlida per als sediments marins.

1. Introducció

El 1999 Michael Mann *et al.* publicaren un article a la revista *Nature*, en què s'exposava que les temperatures assolides al llarg dels darrers 25 anys del segle XX havien estat les més altes de tot el mil·lenni. Mann *et al.* van combinar dades procedents de diverses fonts independents per a estimar les temperatures de l'Hemisferi Nord dels darrers 1000 anys i les van plasmar en un sol gràfic, que, per la seva forma, anomenaren la "corba del pal d'hoquei" (Mann *et al.* 1998 i 1999). L'increment exponencial de la temperatura en els últims anys s'ha atribuït a l'activitat humana, ja que sobresurt de les tendències climàtiques dels darrers 2000 anys. L'informe del Panell Intergovernamental sobre Canvi Climàtic de l'ONU (IPCC) de l'any 2001 va recolzar aquesta hipòtesi i a partir d'aquí la coneixença de la *corba del pal d'hoquei* s'ha extès a gran part de la comunitat científica i als mitjans de comunicació (NRC, 2006). Altres grups científics han estimat la temperatura dels darrers segles utilitzant fonts diferents a les de Mann *et al.* (1998 i 1999), obtenint resultats similars. De les reconstruccions de temperatura globals de l'aire disponibles pels últims 2000 anys se'n deriven dues tendències principals: un període de temperatures relativament altes al voltant del segle XI, que alguns anomenen *òptim climàtic medieval* i un altre període de temperatures baixes o *petita edat del gel* entre el 1500 i el 1850 AD.

Per a reconstruir temperatures de temps passats es poden utilitzar: (i) dades instrumentals (limitades en ser una tècnica que es remunta només als darrers 250 anys aproximadament) i (ii) *proxies* (indicadors mesurables que reconstrueixen de forma indirecte un o diversos paràmetres climàtics o ambientals). En el present projecte s'utilitzen uns *proxies* nous per a estimar les temperatures superficials de l'aigua i de l'aire dels darrers 2000 anys de la zona de l'estret del Skagerrak, al nord de la península de Jutlàndia, per tal d'estudiar l'evolució del clima en aquesta zona i comparar-la amb la tendència del pal d'hoquei observada en diversos registres de l'hemisferi Nord. Els *proxies* utilitzats es basen en els Glicerol Dialquil Glicerol Tetraèters (GDGTS), lípids de membrana sintetitzats pels crenarqueotes, un

grup dins el domini dels arquees. Els GDGTs poden contenir més de vuit anells ciclopentà, nombre que augmenta amb la temperatura de creixement. S'han utilitzat els *proxies* TEX₈₆ que estima la temperatura superficial de l'aigua del mar (SST) concretament dels primers 100 metres de la columna d'aigua aproximadament (Wuchter *et al.*, 2005), el MAAT que estima la temperatura mitjana anual de l'aire, el BIT que pot oscil·lar entre 0 i 1 i estima la proporció de matèria orgànica d'aport terrestre que hi ha als sediments marins o lacustres respecte el material orgànic autòcton i permet relacionar altes quantitats d'aquest aport amb episodis en què els factors que augmenten l'erosió de sediments terrestres i el següent transport fluvial d'aquests al medi marí o lacustre han estat accentuats i el CBT a partir del qual es pot estimar el pH del sòl. D'altra banda, per a comparar els resultats estimats s'ha utilitzat un altre registre de SST estimat amb un altre *proxy*, l'índex U^K₃₇ mitjançant el qual a partir del nombre de dobles enllaços de les alquenones de cadena llarga sintetitzades per algunes espècies de fitoplàncton es pot determinar la temperatura de creixement del fitoplàncton, ja que el grau d'insaturacions d'aquestes molècules depèn de la temperatura a la qual han crescut.

Aquests *proxies* s'han estimat a partir de la preparació de 40 mostres procedents del testimoni sedimentari MD99-2286 extret en un punt del Skagerrak concretament a 58°43'77"N i 10°12'31"E i datat per la tècnica del AMS ¹⁴C. El Skagerrak és un estret de 240 km de longitud i d'entre 80 i 90 km d'amplada que separa el sud de Noruega de la Península de Jutlàndia, connectant el Mar del Nord amb el Mar Bàltic. Degut a les corrents marines de l'estret, la taxa de sedimentació d'aquest indret és molt alta, d'aproximadament 1cm/any.

2. Metodologia

El mètode d'anàlisi utilitzat consta de dues parts diferenciades; la primera, de preparació de les mostres, en què a partir dels sediments del testimoni es realitzen una sèrie de processos de laboratori en què s'extreuen els components objecte d'estudi: els GDGTs. Primerament s'elimina l'aigua dels sediments mitjançant la liofilització. En segon lloc s'extreu la matèria orgànica dels sediments, mitjançant un microones i una barreja de diclorometà:metanol (DCM:MeOH) en proporció 3:1, i es centrifuga durant 6 minuts a 2000 revolucions per minut (RPM). Per últim es realitza una neteja de les mostres mitjançant una saponificació per hidròlisi, que s'aconsegueix afegint hidròxid de potassi (KOH) al 8% a les mostres i deixant-les en repòs i a la foscor durant 24 hores. A continuació es realitzen tres extraccions líquid-líquid amb hexà i s'elimina el dissolvent per evaporació. Prèviament a la injecció de les mostres al HPLC, es filtren a 0.45 µm. La segona, d'anàlisi de les mostres, consisteix en separar, identificar i quantificar cadascun dels GDGTs presents a les mostres analitzades mitjançant cromatografia líquida d'alta resolució (HPLC) acoblat a un espectròmetre de masses (MS), per tal de poder calcular els índexs descrits i associar cada mostra a una edat.

3. Resultats

3.1 TEX₈₆

Per al període estudiat la temperatura mitjana superficial de l'aigua estimada mitjançant el TEX₈₆ dona una mitjana de 7.2°C. S'observen quatre tendències principals, marcades amb línies verticals discontinues a la figura 1. Des de l'any 35 AC fins aproximadament el 844 DC la SST mostra una tendència general a l'augment. Entre el 844 DC i el 1770 DC aproximadament, la SST tendeix a disminuir. Del 1770 fins el 1870 DC aproximadament, la SST tendeix a augmentar. Entre el 1870 i el 1996 DC la SST tendeix a disminuir.

3.2 MAAT

Per al període estudiat la temperatura mitjana superficial de l'aigua estimada mitjançant el MAAT dona una mitjana de 14.6°C. S'observen tres tendències

principals, marcades amb línies verticals discontinues a la figura 2. Entre el 35 AC i el 655 DC aproximadament hi ha una tendència a l'augment de la temperatura de l'aire. Cal fer esment específic de la presència d'un pic de temperatura major a la temperatura mitjana de tot el període estudiat, situat aproximadament entre el 540 DC i el 850 DC. Entre el 850 DC i el 1550 DC aproximadament, la temperatura de l'aire s'ha mantingut relativament constant i quasi sempre inferior a la temperatura mitjana de tot el període estudiat. A partir del 1550 DC i fins al 1996 DC aproximadament, sembla que la temperatura mitjana anual de l'aire ha augmentat de forma accentuada. Concretament a partir de l'any 1885 DC la temperatura incrementa de forma encara més accentuada.

3.3 BIT

Per al període estudiat el BIT té un valor mitjà de 0.07, per tant la major part del senyal ha estat produïda *in situ*. S'observen 5 tendències principals marcades per línies verticals discontinues a la figura 3. Entre el -36 AC i el 844 DC el BIT hauria tendit a disminuir discretament. Cal destacar un pic de 0.09 al voltant de l'any 445 DC, valor per damunt de la mitjana per al període estudiat. Entre el 844 DC i el 1462 DC aproximadament el BIT hauria tendit a incrementar de 0.07 a 0.09, assolint-se un nou pic per damunt de la mitjana del període estudiat. Entre el 1462 DC i el 1821 DC aproximadament, el BIT hauria disminuït i després s'hauria mantingut relativament constant. Entre el 1821 DC i el 1940 DC l'índex d'aport terrestre hauria disminuït. Entre el 1940 DC i el 1996 DC el BIT hauria tendit a augmentar.

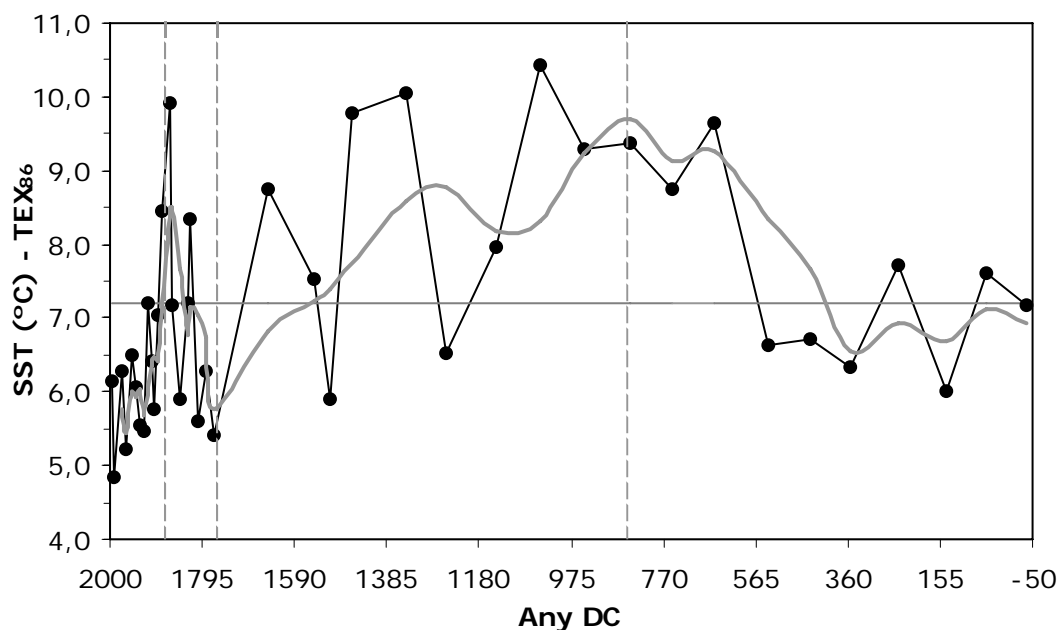


Figura 1 Temperatura (°C) superficial de la columna d'aigua estimada a partir de l'índex TEX₈₆. En negre es representen els valors calculats per a l'índex. En gris es representa una mitjana per cada tres valors individuals. Les línies verticals discontinues indiquen canvis observats en la tendència de les SST. La línia horitzontal representa el valor de SST mitjà per a tot el període estudiat. Font: elaboració pròpia.

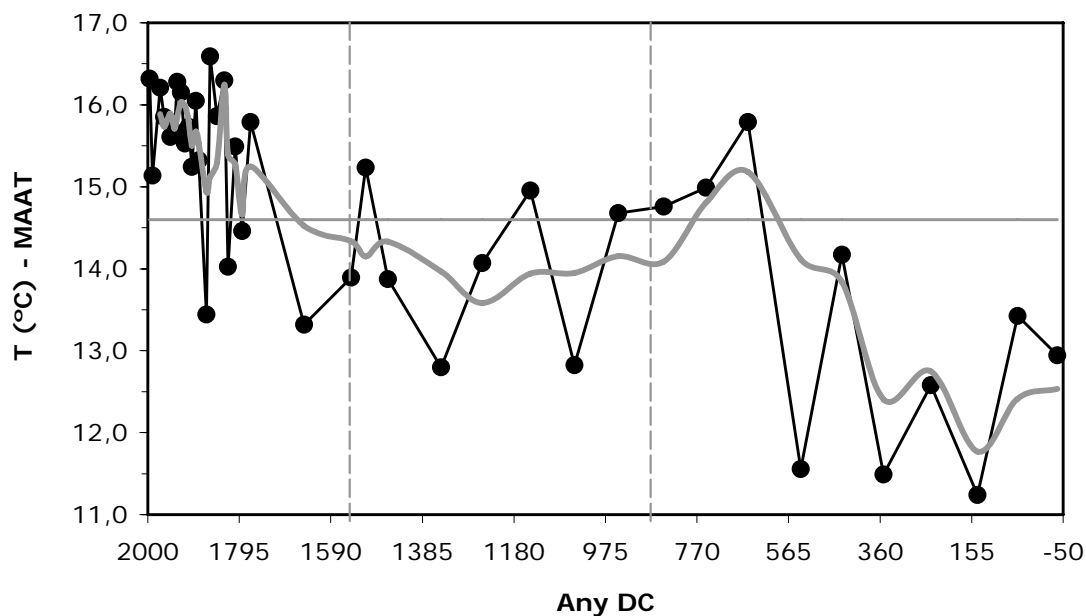


Figura 2 Temperatura (°C) mitjana anual de l'aire (MAAT) dels darrers 2000 anys. En negre es representen les mesures experimentals i en gris una mitjana cada tres punts. La línia horitzontal representa la MAAT mitjana per al període estudiat. Les línies verticals discontinües distingeixen les tres tendències observades. Font: elaboració pròpia.

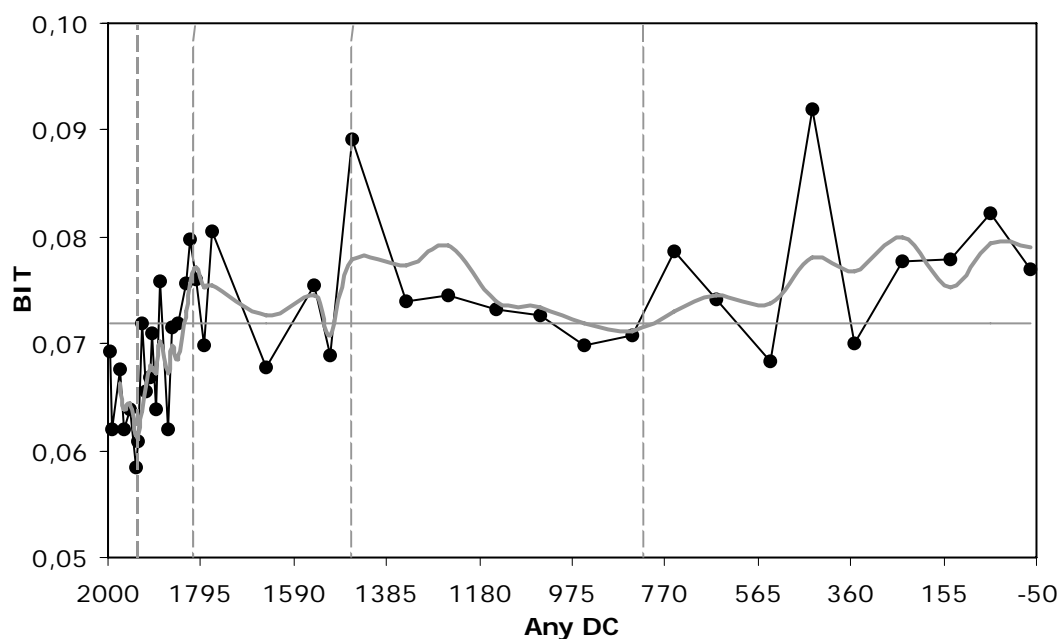


Figura 3 Índex BIT per a cada mostra analitzada del període estudiat. Les línies negres uneixen els valors individuals calculats mitjançant l'índex BIT. La línia gris representa una mitjana cada tres punts. La línia horitzontal gris representa el valor mitjà del BIT estimat per al període estudiat. Les línies verticals discontinües representen canvis observats. Font: elaboració pròpia.

3.4 pH

Per al període estudiat el pH estimat presenta un valor mitjà de 8.2. S'observen cinc tendències principals senyalitzades mitjançant línies verticals discontinües a la

figura 4. Entre el -36 AC i el 656 DC aproximadament, el pH del sòl s'hauria mantingut relativament constant, fins a incrementar en acabar aquest període. Entre el 657 DC i el 1143 DC aproximadament el pH hauria tendit a disminuir i tornar a assolir el valor de inicial en acabar el període. Entre el 1143 DC i el 1650 DC aproximadament el pH sembla que la tendència hauria estat la mateixa que en el cas anterior. Entre el 1650 DC i el 1820 DC aproximadament, el pH hauria tendit a disminuir. Entre el 1820 DC i el 1996 DC aproximadament, sembla que el pH hauria tendit a incrementar de forma acentuada.

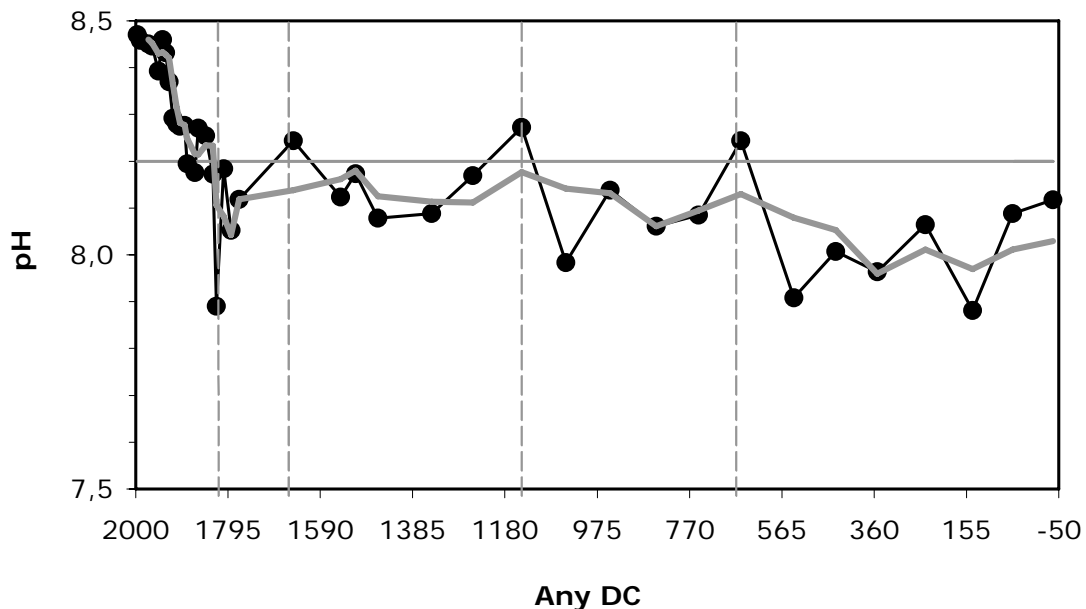


Figura 4 Estimació del pH a partir del *proxy* CBT per al període estudiat. Les línies negres uneixen els valors individuals calculats. La línia horitzontal gris representa el valor mitjà del pH estimat per al període estudiat. Les línies verticals discontinues representen canvis observats. Font: elaboració pròpia.

4. DISCUSSIÓ

4.1 TEX₈₆

La disminució de la SST d'aquest punt del Skagerrak des de 1850 DC fins a l'actualitat podria ser deguda al desgel de les glaceres de l'Àrtic i al conseqüent major aport d'aigua freda de l'Atlàntic al Skagerrak. La disminució de la SST observada entre el 844 DC i el 1770 DC podria reflectir un canvi a un clima més fred que s'hauria donat al voltant del 1200 DC a l'Atlàntic Nord i que s'hauria allargat fins al 1720 DC (Thorsen i Dale, 1998). El refredament de la SST observat aproximadament partir del 844 DC en aquesta zona podria deure's a la gran intensitat d'entrada de masses d'aigua del Mar del Nord al Skagerrak a partir del 900 DC aproximadament (Hass, 1996). La disminució de la SST entre el 1500 DC i el 1770 DC podria ser deguda a un major aport d'aigua freda de l'Atlàntic al Skagerrak respecte l'aport de l'aigua càlida de la Corrent del golf. L'increment de la SST observat entre el -35 AC i el 844 DC podria ser degut a una disminució de la intensitat d'entrada de masses d'aigua fredes del Mar del Nord al Skagerrak i conseqüentment un major aport d'aigua càlida de la Corrent del Golf.

4.2 MAAT

La tendència a l'augment de temperatura mitjana anual de l'aire que s'estima per al període 35 AC – 655 DC podria reflectir la transició entre una etapa de condicions climàtiques severes a una amb unes condicions més càlides. El pic de temperatura mitjana anual de l'aire que s'estima en el període 540-850 DC podria reflectir l'òptim climàtic medieval tot i que en aquest cas s'hauria avançat respecte les

estimacions hemisfèriques mitjanes de la cronologia d'aquest òptim, que estimen que es donà al voltant de l'any 1000 DC. La tendència observada entre el 850 DC i el 1550 DC, podria indicar una petita edat del gel a la zona del Skagerrak, que com en el cas anterior, s'hauria avançat respecte les estimacions hemisfèriques, segons les quals la petita edat del gel s'hauria donat entre el 1500 i el 1850 DC. L'observació d'una tendència a l'escalfament, es pot desglossar en dos trams: el primer, entre 1550 DC i 1885 DC, podria reflectir una tendència climàtica a l'escalfament després del període fred anterior, probablement seria d'origen natural. El segon, entre 1885 DC i 1996 DC, en què la tendència a l'escalfament és molt més accentuada que en el tram anterior, es podria atribuir al comportament antròpic i la seva influència en el clima. Per tant, degut a la forma que presenta el gràfic de reconstrucció de la temperatura de l'aire estimada pel MAAT respecte el temps, en aquesta reconstrucció es confirma la hipòtesi de la corba del pal d'hoquei.

4.3 BIT

Per al període estudiat, s'estima un valor del BIT que oscil·la entre 0.05 i 0.09, amb un valor mitjà de 0.07. Per tant la senyal de temperatura estimada amb el TEX_{86} hauria estat produïda *in situ* entre un 91% i un 99% durant aquest període. En canvi, entre un 5% i un 9% de la senyal de temperatura vindria originada per GDGTs ramificats, els quals haurien estat dipositats al Skagerrak per aport fluvial. Probablement els pics observats al voltant dels anys 445 DC i el 1462 DC, podrien ser deguts a un major aport de material terrestre per part dels rius que desemboquen al Skagerrak respecte l'aport de material autòcton de la zona. Podrien haver-hi hagut episodis de pluges torrencials al voltant d'aquestes dates a la zona de Noruega, que haurien provocat una major erosió de material orgànic terrestre, que hauria estat transportat pels rius que desemboquen al Skagerrak, caldria veure-ho en un estudi més detallat. Cal tenir en compte que la zona del Skagerrak d'on prové el testimoni MD99-2286 té una taxa de sedimentació de més de 1cm/any, per tant l'aport de material autòcton a la zona és molt important, fet que podria emascarar l'aport de material orgànic terrestre.

4.4 pH

Els valors de pH estimats mitjançant el *proxy* haurien d'aproximar el pH del sòl de zones de Noruega properes als Rius que desemboquen al Skagerrak. En general els sòls de Noruega són de naturalesa àcida, ja que els boscos de coníferes que s'extenen per tot el país viuen sobre substrat granític. Els resultats obtinguts mostren una mitjana de pH de 8.2 per al període estudiat, pH que correspondria a sòls carbonatats. Molt probablement aquesta estimació de pH no reflecteix el pH real del sòl d'alguna zona de Noruega. Cal tenir en compte que aquesta estimació del pH no és independent de la temperatura i el valor estimat podria estar reflectint la tendència en el comportament de la temperatura de l'aire (MAAT) de forma qualitativa, ja que en els darrers 200 anys ambdós índexs (MAAT i pH) mostren una marcada tendència a l'increment.

4.5 Comparació dels valors obtinguts del TEX_{86} i del MAAT amb altres dades

4.5.1 Registres instrumentals

Els resultats obtinguts s'han comparat amb dades de registres instrumentals de les estacions meteorològiques d'Oksoy (Kristiansand, 58°N 8°E) i Faerder (Tjome, 59°N 10°E). En primer lloc, el valor del MAAT estimat pels dos períodes segons els índexs basats en GDGTs no s'assembla a la temperatura mitjana anual de l'aire, sinó a la temperatura mitjana de l'estiu registrada per les dues estacions meteorològiques: en el cas de l'estació d'Oksoy difereix en +0.8°C i en el cas de l'estació de Faerder difereix en -1.0°C. No obstant, cal tenir en compte que el MAAT s'estima a partir de GDGTs terrestres, és a dir, que es troben al sòl, i per tant el senyal de temperatura estimat probablement seria el de l'aire en contacte amb el

sòl, mentre que el registre instrumental dóna la senyal de temperatura a 1.5m d'alçada respecte el sòl (NRC, 2006). L'aire en contacte amb el sòl normalment és més càlid que l'aire a uns centímetres del sòl, ja que el sòl reté part de la radiació solar que li arriba i escalfa l'aire que hi està en contacte. D'altra banda podria ser que els organismes sintentitzadors de GDGTs tinguessin un metabolisme més actiu a l'estiu que a la resta de l'any i conseqüentment la mesura de la seva distribució indiqui la temperatura mitjana de l'aire de l'estiu. D'altra banda, el valor del TEX₈₆ estimaria la senyal de SST procedent de l'hivern austral, segons Schouten *et al.* (2002), que podríem equiparar a l'estiu boreal. No obstant, sembla ser que en aquest cas els valors de temperatura (°C) obtinguts mitjançant la *proxy* s'assemblen bastant a la temperatura mitjana anual d'Oksoy (+0.1°C) i a la temperatura mitjana de la primavera de Faerder (+0.3°C). Cal tenir en compte que en un cas es tracta de temperatura superficial del mar i en l'altre cas és de l'aire, i és obvi que difereixin. Altrament la calibració del TEX₈₆ està realitzada amb temperatures mitjanes anuals de la superfície del mar. Per últim, la *proxy* U₃₇^{K'} es correlacionaria millor amb la SST de la tardor austral segons Schouten *et al.* (2002). No obstant, en aquest cas s'assembla més a la temperatura registrada a l'estiu a les dues estacions. Cal tenir en compte però que la *proxy* estima la SST i el registre és de la temperatura de l'aire, per tant és natural que difereixin.

Per tal de poder fer observacions més significatives, el valor de la SST estimat amb el TEX₈₆ es pot comparar amb altres estimacions de la temperatura de l'aigua realitzades al Skagerrak mitjançant *proxies* com el U₃₇^{K'} (Rosell-Melé, comunicació personal) o la relació de δ¹⁸O de foraminífers bentònics (Brückner i Mackensen, 2005).

4.5.2 Mesura de l'índex U₃₇^{K'} en alquenones

El rang de temperatures estimat mitjançant aquesta *proxy* s'aproxima bastant al rang estimat pel MAAT i és més alt que l'estimat pel TEX₈₆. Les tendències observades en la SST a partir dels valors estimats per l'índex U₃₇^{K'} no s'observen en els valors de la SST estimats per l'índex TEX₈₆. Cal tenir en compte que per una banda, el primer índex estima la SST de la zona fòtica, mentre que el segon recull aproximadament la senyal de temperatura dels primers 100 m de la columna d'aigua. Per l'altra, el registre de SST estimat a partir de l'índex U₃₇^{K'} s'ha realitzat a partir de l'anàlisi 105 mostres mentre que l'estimació de la SST a partir de l'índex TEX₈₆, degut a problemes tècnics externs en un segon període d'anàlisi que no s'ha pogut incloure en el projecte, s'ha realitzat a partir de l'anàlisi de 40 mostres, fet que disminueix la resolució del registre i conseqüentment també la possibilitat d'observar-hi tendències comparables a un registre de major resolució.

4.5.3 Mesura de δ¹⁸O de foraminífers bentònics

Els foraminífers bentònics són un ordre de protozous proveïts d'una closca calcària que viuen en contacte amb el substrat, per tant el senyal de temperatura estimat amb aquesta *proxy* representa la temperatura de l'aigua del fons del mar. Al comparar els resultats de Brückner i Mackensen (2005) amb els resultats obtinguts amb la *proxy* TEX₈₆, s'observen les mateixes tendències en els dos primers períodes, tot i que l'escala temporal varia: en el cas del TEX₈₆ aquests dos períodes s'haurien avançat. D'altra banda, pels dos darrers períodes, malgrat coincidir aproximadament en el temps, la tendència en el comportament de la temperatura és oposada: mitjançant la *proxy* TEX₈₆ s'estima un increment de la SST entre el 1770 i el 1870 DC i una disminució entre el 1870 i el 1996 DC, mentre que amb la *proxy* de mesura de δ¹⁸O del foraminífer *B. marginata* s'estima una disminució accentuada de la temperatura del fons del mar entre el 1630 i el 1870 DC mentre que a partir del 1870 fins a l'actualitat s'estima un increment de la temperatura. Pel que fa al rang de temperatura, el TEX₈₆ estima una SST entre 4.8°C i 10.4°C, mentre que el rang estimat pel δ¹⁸O del foraminífer *B. Marginata* es situa entre uns

4.5°C i uns 7°C. El rang de temperatura estimat pel primer és superior a l'estimat pel segon, ja que en el primer cas la senyal de temperatura és d'aproximadament els primers 100 metres de la columna d'aigua, mentre que en el segon cas la senyal de temperatura és la del fons marí.

4.5.4 Registre instrumental per a diverses regions de Noruega

Un estudi recent de l'Institut Meteorològic de Noruega (Hanssen-Bauer, 2005) analitza sèries regionals actualitzades de temperatura i precipitació de Noruega, obtingudes en estacions meteorològiques. Al comparar els resultats de la regió 1 d'aquest estudi amb les estimacions realitzades amb el MAAT, s'observen unes tendències de temperatura similars. Així doncs, sembla ser que l'estimació de la temperatura mitjana anual de l'aire realitzada amb la *proxy* MAAT és aproximadament semblant a les dades procedents dels registres instrumentals agrupats per a la regió 1 de Noruega establerta per Hanssen-Bauer (2005). Per tant en aquest cas, al contrari de en les comparacions amb els registres instrumentals de les estacions d'Oksoy i Faerder, sembla ser que el MAAT és un bon estimador de la temperatura anual de l'aire. Podria ser degut que el MAAT s'estima a partir de GDGTs terrestres, procedents de diverses zones de Noruega on s'han erosionat sediments que han estat transportats fluvialment fins al Skagerrak, per tant el MAAT estimaria a grans trets la temperatura mitjana anual d'una zona més extensa de Noruega, com podria ser la regió 1 establerta per Hanssen-Bauer (2005). Per aquest motiu, la comparació del MAAT, que estimaria la temperatura d'una zona, amb els dos registres instrumentals de temperatura d'Oksoy i Faerder, que són puntuals, diferirien

5. CONCLUSIONS

Al comparar la SST estimada mitjançant aquest índex amb dos registres instrumentals propers a la zona d'on s'ha extret el testimoni sedimentari, s'observa que en un cas la SST estimada s'assembla a la temperatura mitjana anual i en l'altra a la temperatura mitjana de la primavera. Per tant el TEX_{86} no reflectiria la temperatura de l'aire. Al comparar la SST estimada per aquest índex respecte el temps amb la SST estimada per l'índex U_{37}^K respecte el temps, no s'observa la mateixa tendència. A més el rang de temperatura estimat per l'índex U_{37}^K és major que l'estimat pel TEX_{86} . Comparant la temperatura del fons marí estimada mitjançant la mesura de $\delta^{18}O$ de foraminífers bentònics amb la temperatura superficial de l'aigua estimada pel TEX_{86} s'observen tendències similars en els dos primers períodes de canvi mentre que en els dos darrers es tendències són oposades. El rang de temperatura estimat pel fons marí és menor que l'estimat mitjançant l'índex TEX_{86} . Aquestes tres observacions demostren que el senyal de temperatura estimat pel TEX_{86} prové d'una zona en la columna d'aigua situada entre la zona fòtica i el fons marí.

La tendència de la temperatura estimada mitjançant el MAAT es pot vincular a esdeveniments climàtics ja observats per altres autors. S'observa un òptim climàtic medieval entre el 540 i el 850 DC aproximadament, una petita edat del gel entre 850 DC i 1550 DC aproximadament i un increment accentuat de temperatures en els darrers 200 anys. Per la forma que presenta el gràfic de l'estimació de la temperatura respecte el temps, es pot confirmar que en aquesta reconstrucció també s'observa la corba del pal d'hoquei. Comparant el valor de temperatura estimat pel MAAT amb registres instrumentals es detecta que no hi ha semblances amb la temperatura mitjana anual registrada, sinó amb la temperatura mitjana de l'estiu registrada en les dues estacions. Però comparant el valor del MAAT dels darrers 130 anys amb un estudi regional del registre instrumental de la temperatura mitjana anual de Noruega, s'observa un comportament molt similar en ambdues tendències. Per tant el MAAT estima la temperatura a nivell regional, no local, ja que els GDGTs terrestres provenen de diferents zones i per transport fluvial desemboquen al medi marí.

L'estudi del BIT demostra que la major part del sediment del testimoni sedimentari analitzat prové de material autòcton, i en una molt baixa proporció de material al·lòcton transportat fluvialment. Això no significa que l'aport fluvial sigui baix, ja que la zona del Skagerrak d'on s'ha extret el sediment és la zona amb major taxa de sedimentació de tot l'estret, fet que podria emascarar l'aport terrestre. Al voltant del 445 DC i el 1462 DC aproximadament, s'observen dos pics en l'estimació del BIT, fet que podria indicar episodis de pluges torrencials en aquesta època que haurien ocasionat un major aport fluvial de material terrestre al medi marí, o bé un canvi en la dinàmica de les corrents marines del Skagerrak que haurien comportat una menor taxa de sedimentació de material autòcton i l'efecte d'emascarament del material terrestre s'hauria vist reduït.

En aquest estudi, l'estimació del pH no és representativa dels sòls de Noruega ja que s'estima un valor de pH mitjà de 8.2 per al període estudiat, pH que s'associaria a sòls carbonatats, mentre que els sòls de Noruega són en major part de naturalesa granítica i per tant de pH àcid. Segons aquest estudi, aquesta forma d'estimar el pH no és vàlida per a sediments marins.

Aquest estudi és un pas previ a un projecte a major escala en què s'intentarà donar resposta a les qüestions que no s'han pogut abarcar aquí per les característiques intrínseques de l'assignatura. Algunes de les fites per al futur treball serien ampliar el nombre de mostres per a tenir un registre a major resolució que permeti realitzar comparacions i hipòtesis més significatives sobre el comportament del clima en aquesta zona, així com realitzar les proves pertinents per a conèixer millor la relació dels GDGTs terrestres i el pH, entre d'altres.